

Реологические характеристики зерновых суспензий в процессе механико-ферментативной обработки

Т.С. ИБРАГИМОВ, А.В. ЧЕБОТАРЬ, Д.В. СВИНЦОВ, А.Г. НОВОСЕЛОВ
dekrosh@mail.ru

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО
Институт холода и биотехнологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

В настоящее время поиск путей совершенствования производства этанола ведется по нескольким направлениям. И одним из них является совершенствование машинно-аппаратурной схемы. Проведение водно-тепловой обработки зернового сырья, осахаривания и сбраживания полученного суслу в кожухотрубном струйно-инжекционном бродильном аппарате (КСИБА) позволяет уменьшить машинно-аппаратурное оформление технологической линии. Реализация данной идеи не была бы возможной без предварительного исследования реологических характеристик обрабатываемых водно-зерновых суспензий.

Ключевые слова: КСИБА, реология, водно-зерновая суспензия, вязкость, крахмал.

Rheological properties of grain suspensions in mechanical and enzymatic treatment

T.S. IBRAGIMOV, A.V. CHEBOTAR, D.V. SVINTSOV, A.G. NOVOSELOV

*National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics
Institute of Refrigeration and Biotechnologies
191002, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

Currently, there are a lot of ways to improve the ethanol production. And one of them is to improve the machine instrumental scheme. The thermal treatment of grain suspension, saccharification and fermentation of the wort in the jet injection fermenter (JIF) can reduce the hardware design of the machine and production line. The implementation of this idea could not have been possible without the study of the Rheological properties of grain suspensions.

Keywords: JIF, rheology, grain suspensions, viscosity, starch.

Совершенствование машинно-аппаратурной схемы реализующей производство этанола является одним из направлений повышения рентабельности спиртовых заводов [1].

Одним из направлений такого совершенствования является последовательное проведение трех технологических стадий, а именно, водно-тепловой обработки (ВТФО) зернового сырья, его осахаривания и сбраживания.

В работе [1] рассмотрена возможность применения кожухотрубного струйно-инжекционного ферментатора (КСИФ) для указанных выше стадий.

Реализация стадии ВТФО зерновых суспензий представляет собой наиболее сложную задачу, т.к. в КСИФе этот технологический процесс проводится в интенсивном режиме замкнутой циркуляции суспензии. Гидродинамика потоков многофазных систем представляет собой чрезвычайно сложное явление и во многом определяется реологическими свойствами суспензии. Проблема еще более усугубляется неизотермичностью проводимого процесса, сопровождающейся деструкцией твердой фазы.

В данной статье рассматриваются результаты исследований реологических характеристик водно-зерновой суспензии без применения разжижающих ферментов, а подвергающихся только тепловому воздействию. Большинство работ, посвященных рассмотрению этого вопроса, не дают каких-либо зависимостей по существу, констатируя лишь очевидное отличие значений коэффициента динамической вязкости от концентрации измельченного зерна, его дисперсного состава и температурного воздействия. Как правило, эти работы были направлены на оценку влияния ферментных препаратов на вязкость обрабатываемой среды и задача комплексного изучения реологических характеристик самой среды не ставилась.

В нашем случае, представляет интерес влияние гидродинамических характеристик на эффективную вязкость при различных температурах и скоростях сдвига.

Эксперименты проводились на ротационном вискозиметре R2. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1

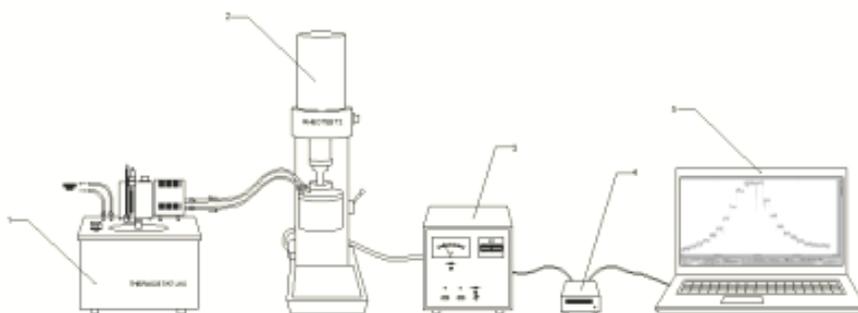


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для проведения исследований реологических характеристик водно-зерновых суспензий:

*1-термостат; 2 - вискозиметр; 3 - измерительное устройство;
2-4 - АЦП; 5 - компьютер*

Эксперименты были проведены для гидромодулей в диапазоне от 1: 4 до 1: 2.5. В качестве зернового материала измельченные зерна ячменя (100 % проход через сито с отверстиями 1 мм). Скорость сдвига варьировалась в диапазоне от 1 с^{-1} до 437 с^{-1} . Температура суспензии изменялась от $20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким образом, в результате проведенных экспериментов были получены значения

коэффициента эффективной вязкости $\mu_{эф}$ для всех исследованных гидромодулей в широком диапазоне температур и скоростей сдвига.

Зависимость $\mu_{эф}$ от скорости сдвига γ для всех гидромодулей и для всего диапазона исследованных температур имела вид, представленный на рис.2

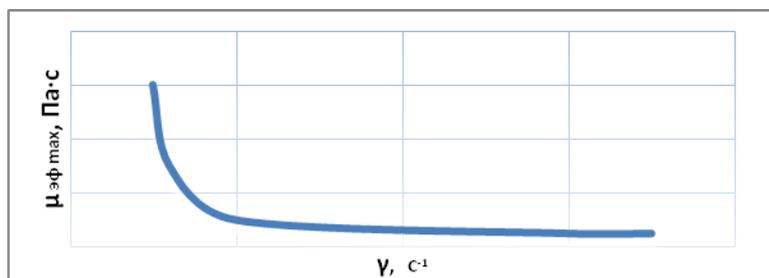


Рис. 2 Характерное изменение эффективной вязкости водно-зерновой суспензии при различных скоростях сдвига

Зависимость $\mu_{эф}$ от температуры суспензии при постоянной скорости сдвига также имеет идентичный характер для всех исследованных гидромодулей.

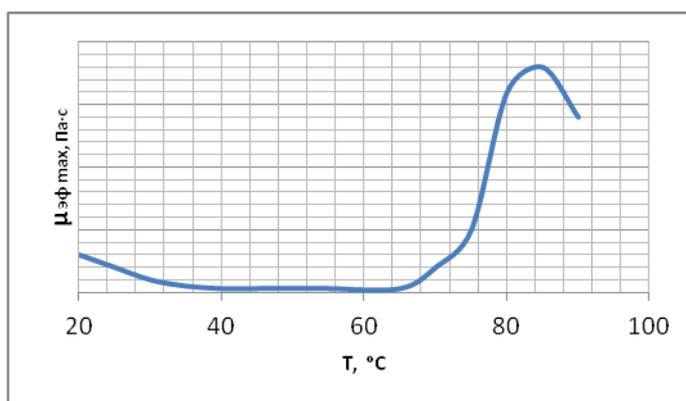


Рис. 3 Характерное изменение эффективной вязкости водно-зерновой суспензии в процессе нагрева при $\gamma = const$

Из графика, представленного на рис. 3, видно, что изменение $\mu_{эф}$ с увеличением температуры суспензии носит сложный характер и, условно, его можно разбить на четыре области.

В первой области (диапазон температур 20-40 °C) эффективная вязкость уменьшается с ростом температуры. Темп уменьшения вязкости сначала имеет максимальный характер, но по мере увеличения температуры начинается снижаться.

Во второй области (диапазон температур от 40-60 °C) изменение вязкости не происходит, т.е. с увеличением температуры $\mu_{эф} = const$. Величина этого постоянного значения $\mu_{эф}$ зависит только от концентрации твердой фазы в суспензии и скорости сдвига γ .

В третьей области (60-85 °C) наблюдалось резкое увеличение $\mu_{эф}$ до некоторого максимального значения, характерного для данного гидромодуля и скорости сдвига. Практически во всех экспериментах увеличение $\mu_{эф}$ начина-

лось уже при $t = 57$ °С. При этом скорость сдвига и величина гидромодуля на начало этого процесса не влияли. Такой характер изменения $\mu_{\text{эф}}$ от T можно объяснить началом процесса клейстеризации крахмальной составляющей ячменного зерна. В физическом смысле начинается изменение крахмальных зерен, что выражается в переходе из твердого состояния в аморфное, или точнее, гелеобразное. Расстояние между частицами зерна уменьшается ввиду набухания зерен крахмала и увеличения их в размерах. Кроме того, набухающие зерна подвергаются деформационным изменениям. Все это увеличивает сопротивление движению, повышая значение $\mu_{\text{эф}}$. Максимальное значение $\mu_{\text{эф}}$ зависело от величины гидромодуля и скорости сдвига γ . Было установлено, что величина максимального значения $\mu_{\text{эф}}$ сильно зависит от скорости сдвига. Чем выше скорость сдвига, тем меньше $\mu_{\text{эф}}$. Этот эффект можно проиллюстрировать графиком, представленным на рис. 4 для для гидромодуля 1: 2.5 при $t = 72$ °С.

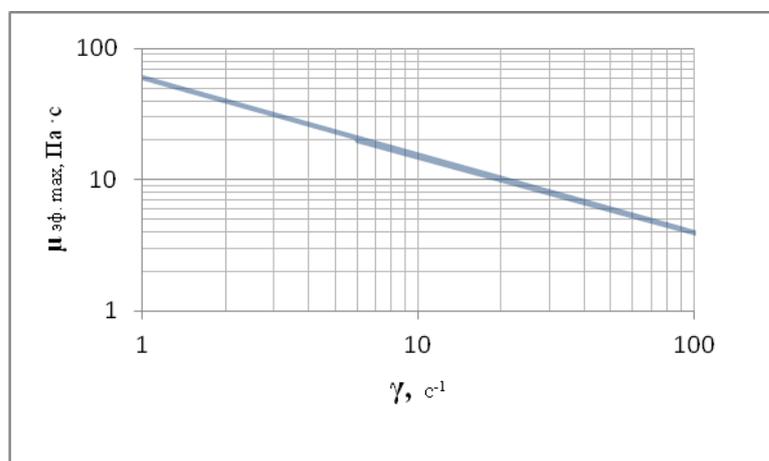


Рис. 4. Изменение максимального значения эффективной вязкости от скорости сдвига (логарифмические координаты)

Как видно из рис. 4, величина $\mu_{\text{эф}}$ резко снижается с увеличением скорости сдвига γ . Обработка экспериментальных данных позволила получить уравнение для расчета $\mu_{\text{эф max}}$.

$$\mu_{\text{эф max}} = \frac{A}{\gamma^n}$$

Для гидромодуля 1:2.5 были определены численные значения коэффициента A и показателя степени n . $A = 60$, $n = 0,58$. Таким образом, оценка максимального значения $\mu_{\text{эф}}$ для гидромодуля 1:2.5 может быть спрогнозирована при помощи зависимости

$$\mu_{\text{эф max}} = \frac{60}{\gamma^{0,58}}$$

Где γ – скорость сдвига, с⁻¹

$\mu_{\text{эф max}}$ – максимальная эффективная вязкость, Па·с

Четвертая область вновь характеризуется снижением значения эффективной вязкости с увеличением температуры. В наших исследованиях она находилась в пределах 80-90 °С. Темп снижения значений эффективной вязкости примерно соответствовал темпу снижения в 1 области.

Выводы

1. В процессе ВТФО текучесть водно-зерновых суспензий резко изменяется. Значения коэффициента эффективной вязкости возрастает на 2-3 порядка в зависимости от концентрации твердой фазы в воде
2. Полученные результаты показывают, что значение эффективной вязкости сильно зависит от скорости движения обрабатываемой суспензии. Причем, чем выше скорость движения в каналах аппарата, тем ниже значения максимально эффективной вязкости. Наличие этого явления позволит существенно сократить расход разжижающих ферментов и, тем самым, повысить рентабельность спиртовых производств.

Литература

1. *Баракова Н.В., Ибрагимов Т.С., Начетова М.А., Новоселов А.Г.* Повышение эффективности производства спирта за счет проведения нескольких технологических стадий в одном аппарате 1. Кожухотрубный струйно-инжекционный бродильный аппарат (КСИБА) // ЭНЖ «Процессы и аппараты пищевых производств». 2010. № 2. 2010.